

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
29. Dezember 2004 (29.12.2004)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2004/113710 A1**

(51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: **F02M 25/07**,  
F02D 35/00, 41/22, 21/08

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): KASSNER, Uwe  
[DE/DE]; Werner-Egk-Str. 4, 71696 Moeglingen (DE).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2004/001267

(22) Internationales Anmeldedatum:  
18. Juni 2004 (18.06.2004)

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für  
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,  
AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH,  
CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI,  
GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE,  
KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD,  
MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG,  
PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM,  
TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM,  
ZW.

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
103 27 691.2 20. Juni 2003 (20.06.2003) DE

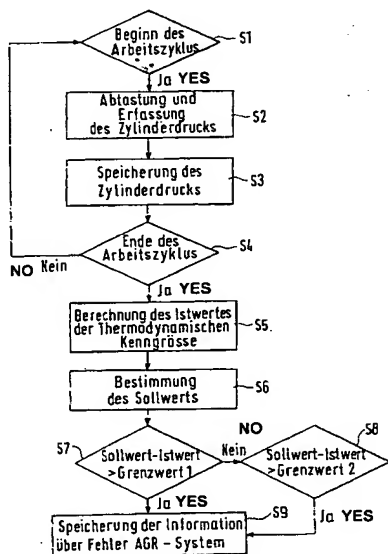
(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von  
US): ROBERT BOSCH GMBH [DE/DE]; Postfach 30 02  
20, 70442 Stuttgart (DE).

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für  
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,  
GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD FOR MONITORING THE EXHAUST GAS RECIRCULATION OF A COMBUSTION ENGINE

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR ÜBERWACHUNG DER ABGASRÜCKFÜHRUNG EINER BRENNKRAFTMASCHINE



S1...START OF WORKING CYCLE  
S2...SAMPLING AND DETECTION OF CYLINDER  
PRESSURE  
S3...STORAGE OF CYLINDER PRESSURE  
S4...END OF WORKING CYCLE  
S5...CALCULATION OF THE ACTUAL VALUE OF  
THE THERMODYNAMIC CHARACTERISTIC VALUE  
S6...DETERMINATION OF THE SET VALUE  
S7...SET VALUE - ACTUAL VALUE > LIMIT VALUE 1  
S8...SET VALUE - ACTUAL VALUE > LIMIT VALUE 2  
S9...STORAGE OF THE ITEM OF INFORMATION  
CONCERNING FAULTS OF THE EXHAUST GAS  
RECIRCULATION SYSTEM

(57) Abstract: The invention relates to a method for monitoring the exhaust gas recirculation (AGR) of a combustion engine by detecting pressure, during which exhaust gas is supplied from an outlet side of a combustion chamber arrangement via an exhaust gas recirculation channel (ARK) to an inlet side of the combustion chamber arrangement. The aim of the invention is to achieve a reliable monitoring of exhaust gas recirculation that involves a relatively low level of complexity. To this end: a pressure course is detected in at least one combustion chamber (ZYL1 ... ZYL<sub>n</sub>), and from this, a thermodynamic characteristic quantity serving as an actual value is determined; a set value of the characteristic quantity is prepared that takes the actual operating point of the combustion engine into account, and a difference between the set value and actual value is determined, and; on the basis of this difference, an item of information is obtained that concerns the actual state of the exhaust gas recirculation compared to the normal state thereof.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zum Überwachen der Abgasrückführung (AGR) einer Brennkraftmaschine mittels Druckerfassung, bei dem Abgas von einer Auslassseite einer Brennraumanordnung über einen Abgasrückführungskanal (ARK) zu einer Einlassseite der Brennraumanordnung zurückgeführt wird. Eine zuverlässige Überwachung der Abgasrückführung mit relativ geringem Aufwand wird dadurch erreicht, dass in mindestens einem Brennraum (ZYL1 ... ZYL<sub>n</sub>) ein Druckverlauf erfasst wird und daraus eine thermodynamische Kenngröße als Ist-Wert ermittelt wird, dass ein den aktuellen Betriebspunkt der Brennkraftmaschine berücksichtigender Soll-Wert der Kenngröße bereitgestellt und eine Abweichung zwischen Soll-Wert und Ist-Wert bestimmt wird und dass aus der Abweichung eine Information über den aktuellen Zustand der Abgasrückführung im Vergleich zu deren Normalzustand gewonnen wird.

BEST AVAILABLE COPY



ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Veröffentlicht:**

— mit internationalem Recherchenbericht

— vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eintreffen

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

### Verfahren zur Überwachung der Abgasrückführung einer Brennkraftmaschine

5 Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zum Überwachen der Abgasrückführung einer Brennkraftmaschine mittels Druckerfassung, bei dem Abgas von einer Auslassseite einer Brennraumanordnung über einen Abgasrückführungs-  
kanal zu einer Einlassseite der Brennraumanordnung zurückgeführt wird.

10

#### Stand der Technik

15

Ein derartiges Verfahren ist in der DE 42 03 235 A1 angegeben. Bei diesem bekannten Verfahren werden mittels einer Ausfalldiagnosevorrichtung einer Abgas-Rückführungs-Steuereinrichtung in einer Ansaugleitung aufeinander  
folgend Druckwerte erfasst und die aufeinander folgenden Druckwertdifferenzen

5       akkumuliert. Aus dem akkumulierten Wert wird durch Vergleich mit einem vorgegebenen Wert eine Ausfalldiagnose der Abgasrückführ-Steuereinrichtung durchgeführt. Bei einem derartigen indirekten Verfahren müssen für jeden Betriebspunkt der Brennkraftmaschine sorgfältige Anpassungen vorgenommen werden, um Fehldiagnosen zu vermeiden. Der erforderliche Aufwand ergibt  
10       zusätzlich höhere Kosten.

Bei einem in der US 5,664,548 vorgeschlagenen weiteren Verfahren dieser Art werden auf der Auslassseite der Brennkraftmaschine Pulsamplituden der Abgasströmung erfasst, um den Zustand der Abgasrückführung zu ermitteln. Auch  
15       diese indirekte Vorgehensweise ist relativ aufwendig. Dabei sind weitere Sensoren nachteilig und insbesondere Sensoren, die dem Abgasstrom ausgesetzt sind, sind starken Temperaturbelastungen und Störungen durch Partikelablagerungen unterworfen.

20       Unter Abgasrückführung (AGR) ist vorliegend die dosierte Einleitung von Abgas von der Ausgangsseite der Brennkraftmaschine in den Ansaugbereich zu verstehen. Dazu wird üblicherweise durch die vorhandene Steuereinrichtung der Brennkraftmaschine ein Abgasrückführventil in Abhängigkeit von verschiedenen Betriebsparametern der Brennkraftmaschine gesteuert. Wenn aber das Ventil nicht  
25       den erwarteten Abgasmassenstrom dosiert (z.B. wegen unvollständiger Öffnung des Ventils durch Verschmutzung und Ablagerungen oder Querschnittsverringern im Wege des Abgases von der Abgasseite der Brennkraftmaschine zur Luftansaugseite), werden zulässige Grenzwerte für die Abgasemissionen über-

5 schritten und nicht optimale Steuersignale (z.B. Zündzeitpunkt) durch die Steuervorrichtung ermittelt.

10 Neben den vorstehend genannten Verfahren zur Überwachung der Abgasrückführung sind noch verschiedene andere Grundprinzipien bekannt. Hierzu gehören eine Messung und Überwachung der durch die aktive Abgasrückführung hervorgerufenen Temperaturänderungen, wobei sich ein Temperatursensor zwischen dem Abgasrückführventil und dem Ansaugbereich befindet, wie z.B. in der US 6,085,732 angegeben. Auch eine Messung und Überwachung des durch die aktive Abgasrückführung hervorgerufenen Gasmassenstroms ist vorgeschlagen  
15 worden. In der DE 42 24 219 A1 ist eine Überwachung des Stickoxyds im Abgas mit einem NOx-Sensor und Rückschluss auf die Rate der Abgasrückführung vorgeschlagen, während die DE 42 16 044 A1 eine Beobachtung des Anstiegs der Verbrennungsaussetzer-Rate mit zunehmender Öffnung des Abgasrückführventils offenbart.

20 Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren der eingangs genannten Art bereit zu stellen, mit dem bei möglichst geringem Aufwand eine möglichst zuverlässige Überwachung der Abgasrückführung erreicht wird.

#### 25 Vorteile der Erfindung

Diese Aufgabe wird mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Dabei ist vorgesehen, dass in mindestens einem Brennraum ein Druckverlauf erfasst wird  
30 und daraus eine thermodynamische Kenngröße als Ist-Wert ermittelt wird, dass

5 ein den aktuellen Betriebspunkt der Brennkraftmaschine berücksichtigender Soll-Wert der Kenngröße bereitgestellt und eine Abweichung zwischen Soll-Wert und Ist-Wert bestimmt wird und dass aus der Abweichung eine Information über den aktuellen Zustand der Abgasrückführung im Vergleich zu deren Normalzustand gewonnen wird.

10 Mit diesen Maßnahmen wird ein direktes Verfahren erhalten, wobei das System zur Überwachung der Abgasrückführung keine zusätzliche Sensoren benötigt und der Verbrennungsablauf direkt analysiert wird. Das Verfahren macht sich die vorhandene Steuereinrichtung der Brennkraftmaschine zunutze, die mit Aufnehmern für den Brennraum- bzw. Zylinderdruck für zumindest einen, beispielsweise  
15 jeden zu überwachenden Zylinder der Brennkraftmaschine verbunden ist. Die Steuereinrichtung wirkt in üblicher Weise auch auf das Abgasrückführventil, um den für den optimalen Betrieb der Brennkraftmaschine erforderlichen Abgas-Massenstrom einzustellen. Der Verlauf des Zylinderdrucks und gegebenenfalls davon abgeleitete Größen werden als Eingangssignal für verschiedene Steuerungsfunktionen in der Steuereinrichtung verwendet. Ausgangssignale der  
20 Steuerung sind z.B. Steuersignale für die Kraftstoffzumessung und die Steuerung der Zündung des Brännstoff-Luft-Gemisches.

25 Das Verfahren beruht auf der bekannten Abhängigkeit des Verbrennungsablaufs von dem relativen Anteil des zurückgeführten Abgases an der Gesamtfüllung jedes Zylinders mit Luft und Kraftstoff. Je größer dieser relative Anteil an Abgas ist, desto länger dauert die Umsetzung des Kraftstoffes während der Verbrennung. Dies ist durch den Charakter des Abgases als Inert-Gas zu erklären, das  
30 keinen Beitrag zur chemischen Reaktion von Kraftstoff und Luft-Sauerstoff lie-

5 fert. Die Bestimmung der Umsetzung des Kraftstoffes erfolgt durch die Anwendung thermodynamischer Berechnungen. Wesentliche Eingangsgröße der thermodynamischen Berechnung ist der gemessene Zylinderdruck. Das Resultat dieser Berechnung für einen in der Regel vollständigen Verbrennungszyklus wird dann in der Steuereinrichtung mit einem Soll-Wert verglichen. Der Soll-Wert wird  
10 vorzugsweise während der Ermittlung der Steuerparameter für die Brennkraftmaschine für verschiedene relative Anteile der Abgasrückführung an den für die Überwachung zu erwartenden Betriebspunkten der Brennkraftmaschine (z.B. Drehzahl und Luftfüllung sowie Betrag der Ansteuerung des Abgasrückführventils) in der Regel im Prüfstand einmalig ermittelt.

15 Eine vorteilhafte Ausgestaltung des Verfahrens für eine zuverlässige Überwachung der Abgasrückführung besteht darin, dass als thermodynamische Kenngröße eine Zeitdifferenz oder eine Kurbelwellen-Winkeldifferenz zwischen einem prozentualen Energieumsatzpunkt und einem in der Steuereinrichtung bekannten Bezugszeitpunkt oder Bezugswinkel zugrunde gelegt wird.  
20

Eine einfache Vorgehensweise mit zuverlässiger Messung wird dadurch begünstigt, dass der Druckverlauf durch Abtasten zu festen Kurbelwellen-Winkeln oder Zeitabständen erfasst wird und die abgetasteten Druckwerte als Datenfolge  
25 während zumindest eines Teils eines Verbrennungszyklus abgespeichert werden.

Eine für die Auswertung vorteilhafte Vorgehensweise wird auch dadurch erreicht, dass die thermodynamische Kenngröße auf der Grundlage des Druckverlaufs aus einem Brennverlauf, bei dem die insgesamt freigewordene Wärmemenge berechnet wird, oder aus einem Heizverlauf, bei dem die dem Brenngas  
30

5 zugeführte Wärmemenge berechnet wird, während zumindest eines Teils eines Verbrennungszyklus ermittelt wird.

10 Zum Ermitteln der thermodynamischen Kenngröße ist vorteilhaft vorgesehen, dass der Heizverlauf nach dem Zusammenhang  $dQ_h = dU + p \cdot dV$  berechnet wird, wobei  $dQ_h$  die zugeführte Wärmemenge,  $dU$  die Erhöhung der inneren Energie des Brenngases und  $p \cdot dV$  die abgegebene mechanische Arbeit bedeuten, und dass aus der zugeführten Wärmemenge  $dQ_h$  durch Integration über den Kurbelwellen-Winkel ein prozentualer Anteil des Energieumsatzes ermittelt wird.

15 Im Einzelnen ergibt sich ein günstiger Verfahrensablauf dadurch, dass der prozentuale Energieumsatzpunkt nach der Formel

$$Q_i = [n/(n-1)] \cdot p_i \cdot (V_{i+1} - V_{i-1}) \cdot [1/(n-1)] + V_i \cdot (p_{i+1} - p_{i-1})$$

20 berechnet wird, wobei  $n$  den Polytropenexponenten,  $p$  den Druck im Brennraum,  $V$  das Zylindervolumen und  $i$  einen laufenden Index des abgetasteten und gespeicherten Zylinderdrucks von Beginn bis zum Ende eines Berechnungsintervalls bedeuten, oder aus einer aus dieser Formel abgeleiteten Formel berechnet wird, und dass der prozentuale Energieumsatz durch Integration der Wärmemengen  $Q_i$  über einen vollständigen Arbeitszyklus nach Bestimmen des 100 %-Energieumsatzes ermittelt und daraus der dem prozentualen Energieumsatz entsprechende Kurbelwellen-Winkel bestimmt wird.

25 Eine zuverlässige Überwachung der Abgasrückführung wird z.B. dadurch erzielt, dass als prozentualer Energieumsatzpunkt der 50 % Energieumsatzpunkt zugrunde gelegt wird.

30 Weiterhin sind für die Überwachung der Abgasrückführung die Maßnahmen vorteilhaft, dass die Abweichung zwischen Soll-Wert und Ist-Wert mit einem positiven und nega-



5 tiven Grenzwert verglichen wird, die die Toleranzen der Kenngrößenberechnung und des Soll-Wertes berücksichtigen.

Verschiedene Möglichkeiten zum Erfassen des Druckverlaufs bestehen darin, dass der Druckverlauf direkt mittels eines in mindestens einem Brennraum angeordneten Sensors  
10 oder indirekt bestimmt wird.

Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen des Verfahrens ergeben sich dadurch, dass die ermittelten Abgasrückführungsdaten in der Steuereinrichtung für eine Fehlerdiagnose mit Fehlerabspeicherung und/oder Fehleranzeige und/oder für Steuerungszwecke, insbesondere Nachregulierung eines Abgasrückführventils, ausgewertet  
15 werden.

## 20 Zeichnung

Die Erfindung wird nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 eine schematische Darstellung vorliegend wesentlicher Teile einer Brennkraftmaschine und  
25

Fig. 2 ein Ablaufdiagramm der Überwachung einer Abgasrückführung.

## 30 Ausführungsbeispiele

Fig. 1 zeigt in schematischer Darstellung eine Zylinderanordnung einer Brennkraftmaschine mit Zylindern ZYL1, ZYL2 ... ZYL<sub>n</sub>, die zwischen ihrer (nicht

5 dargestellt) Ausgangsseite zu ihrer (ebenfalls nicht dargestellten) Eingangsseite beziehungsweise ihrem Ansaugbereich über einen Abgasrückführkanal ARK mit darin angeordnetem Abgasrückführventil ARV für die Abgasrückführung AR verbunden ist. Üblicherweise ist dabei für alle Zylinder ZYL1 ... ZYL<sub>n</sub> gemeinsam eine derartige Abgasrückführung AR vorgesehen, jedoch auch eine individuelle Abgasrückführung AR  
10 über jeweilige Abgasrückführkanäle ARK ist denkbar. Die Zylinder ZYL1 ... ZYL<sub>n</sub> sind mit jeweiligen Druckaufnehmern PA für den Brennraum- bzw. Zylinderdruck versehen, deren Signale einer Steuereinrichtung ST zur Verarbeitung, Auswertung und gegebenenfalls Ansteuerung des Abgasrückführventils ARV zugeführt werden. Bei der Steuereinrichtung ST handelt es sich um eine übliche Motor-Steuereinrichtung, die eine  
15 Vielzahl von Überwachungs- und Steuerungsfunktionen der Brennkraftmaschine erfüllt und unter anderem mit geeigneten Speichereinrichtungen versehen ist, um z.B. vorgegebene Werte und ermittelte Werte abzuspeichern und etwa eine Fehlerdiagnose durchzuführen.

20 Fig. 2 zeigt einen Verfahrensablauf bei der Überwachung der Abgasrückführung AR. Nach einem Beginn eines Arbeitszyklus in einem Schritt S1 (z.B. Einspritzzeitpunkt oder Zündzeitpunkt) wird in einem Schritt S2 der Zylinderdruck bei vorzugsweise einem festen Kurbelwellenwinkel abgetastet und erfasst und in einem Schritt S3 gespeichert. Anschließend wird in einem Schritt S4 festgestellt, ob der Arbeitszyklus (z.B. bei einem  
25 bestimmten abgefallenen Zylinderdruck oder Kurbelwellenwinkel) beendet ist. Falls der Arbeitszyklus nicht beendet ist, werden die vorangegangenen Schritte wiederholt, bis das Ende des Arbeitszyklus festgestellt wird. Danach wird der Ist-Wert einer für die Abgasrückführung charakteristischen thermodynamischen Kenngröße in einem Schritt S5 ermittelt und aus einer Speichertabelle oder einem zuvor gespeicherten Kurvenverlauf in der Steuereinrichtung der den aktuellen Betriebsparametern der Brennkraftmaschine entsprechende Soll-Wert in einem Schritt S6 bereit gestellt. Bei einem  
30 anschließenden Soll-Wert/Ist-Wert-Vergleich in einem Schritt S7 wird festgestellt, ob die Abweichung größer als ein vorgegebener Grenzwert ist. Falls dies nicht der Fall ist, wird

5 in einem Schritt S8 festgestellt, ob die Abweichung zwischen Soll-Wert und Ist-Wert einen weiteren vorgegebenen Grenzwert unterschreitet. Falls in dem Schritt S7 oder dem Schritt S8 festgestellt wird, dass der Grenzwert überschritten beziehungsweise unterschritten ist, wird in einem Schritt S9 eine Information über einen Fehler bei der Abgasrückführung beziehungsweise des Abgasrückführsystems gespeichert. Mit dieser  
10 Information kann dann mittels der Steuereinrichtung eine Diagnoseanzeige gesteuert oder es können weitere oder andere Steuerungsfunktionen, beispielsweise eine Nachregulierung des Abgasrückführventils ARV zur Anpassung an einen versotteten Abgasrückführkanal ARK, ausgelöst werden.

15 Der Soll-Wert, der als Parameter in der Steuereinrichtung abgelegt ist, berücksichtigt den aktuellen Betriebspunkt der Brennkraftmaschine z.B. entsprechend der Drehzahl, der Luftfüllung oder einer eingestellten Abgasrückführrate. Die beiden vorgegebenen Grenzwerte berücksichtigen die Toleranzen bei der Kenngrößenberechnung und des Soll-Wertes.

20 Für die Anzeige der abnormalen Abgasrückführung AR oder für die Durchführung anderer Steuerungsfunktionen wird üblicherweise eine bestimmte Anzahl von Überschreitungen abgewartet, um die Zuverlässigkeit der Auswertung zu erhöhen.

25 In einer Erweiterung der Steuer- bzw. Diagnosefunktion kann die Ansteuerung des Abgasrückführventils ARV durch die Steuereinrichtung so beeinflusst werden, dass die Abweichung zwischen Soll- und Ist-Wert ausgeregelt wird. Damit können z.B. zunehmende Verschmutzungen des Abgasrückführventils ARV oder des Abgasrückführkanals ARK bzw. der Verbindungsleitungen kompensiert werden.

30 Die genannte thermodynamische Kenngröße wird so gewählt, dass sie den zeitlichen Ablauf der Verbrennung beschreibt. An sich bekannte Größen hierfür sind der sogenannte Brennverlauf, der die insgesamt freigewordene Wärmemenge berechnet und

5 der sogenannte Heizverlauf, der die dem Gas zugeführte Wärmemenge berechnet. Der Heizverlauf ist einfacher zu berechnen, da z.B. die Wandwärmeverluste nicht berücksichtigt werden, und wird durch den Zusammenhang

$$dQ_h = dU + p \cdot dV$$

bestimmt, wobei  $dQ_h$  die zugeführte Wärmemenge,  $dU$  die Erhöhung der inneren Energie des Gases und  $p \cdot dV$  die abgegebene mechanische Arbeit bedeuten. Aus der Größe  $dQ_h$  wird durch Integration über den Kurbelwellenwinkel  $\alpha$  der prozentuale Anteil des Energieumsatzes über dem Kurbelwellenwinkel ermittelt. Aus verschiedenen Untersuchungen ist bekannt, dass z.B. der Kurbelwellenwinkel  $\alpha_{E50\%}$ , bei dem 50% des Energieumsatzes erfolgt sind, eine Korrelation mit dem relativen Anteil der Abgasrückführung an der Zylinderfüllung (Abgasrückführrate) aufweist. Dabei ist der 50 %-Energieumsatz allerdings noch nicht eindeutig der Abgasrückführrate zuordenbar.

Um eine eindeutige Zuordnung zu erhalten, wird vorliegend die thermodynamische Kenngröße als Differenz aus dem 50 %-Energieumsatzpunkt und dem aktuell ermittelten Zündwinkel  $\alpha_z$  über den Zusammenhang

$$\Delta\alpha = \alpha_{E50\%} - \alpha_z$$

bestimmt. Mit dieser Größe kann die relative Abgasrückführrate ermittelt werden. In der Steuereinrichtung der Brennkraftmaschine ist der Zusammenhang zwischen der Abgasrückführrate und der Kurbelwinkeldifferenz  $\Delta\alpha$  in Form von Daten, z.B. als Kennfeld oder Funktion  $\Delta\alpha_{\text{soll}} = f(\text{AGR-Rate})$  gespeichert. Diese Funktion ist gegebenenfalls um weitere Betriebsparameter zu erweitern.

Für die von der Steuereinrichtung ST eingestellte Ansteuerung des Abgasrückführventils ARV wird die zugehörige Kenngröße  $\Delta\alpha_{\text{soll}}$  als Sollwert aus den gespeicherten Daten für den betreffenden Verbrennungszyklus ermittelt. Zudem berechnet die Steuereinrichtung ST aus dem Zylinderdrucksignal beziehungsweise der Datenfolge des abgetasteten

5 Druckverlaufs den dem 50 %-Energieumsatzpunkt entsprechenden 50 %-Zündwinkel  $\alpha_{E50 \%}$ , der nach Subtraktion des aktuellen Zündwinkels  $\alpha_z$  die Ist-Größe  $\Delta\alpha_{ist}$  ergibt.

Bei Brennkraftmaschinen ohne Fremdzündung kann die thermodynamische Kenngröße  $\Delta\alpha$  auch zum Beispiel durch Ersetzen des Zündwinkels  $\alpha_z$  erfolgen. Eine mögliche  
10 Realisierung einer solchen Ersatzgröße ist z.B. der Winkel des Spritzbeginns für den Kraftstoff.

Eine einfache Möglichkeit zur Berechnung des 50 %-Kurbelwellenwinkels (50 %-Energieumsatz-Winkel) in der Steuereinrichtung ergibt die Formel

$$15 \quad Q_i = [n/(n-1)] * p_i * (V_{i+1} - V_{i-1}) + [1/(n-1)] * V_i * (p_{i+1} - p_{i-1})$$

wobei  $Q_i$  die Wärmemenge,  $n$  den Polytropenexponenten,  $p$  den Zylinderdruck,  $V$  das jeweilige Zylindervolumen und  $i$  den laufenden Index des abgetasteten und gespeicherten Zylinderdrucks von Beginn bis Ende des Berechnungsintervalles darstellen, das nicht notwendig den gesamten Verbrennungszyklus umfassen muss. Es kann eine  
20 Einschränkung auf einen relevanten Teil des Verbrennungszyklus im Bereich der Energiefreisetzung aus dem Kraftstoff erfolgen.

Nach Integration der Wärmemengen  $Q_i$  über den vollständigen Arbeitszyklus, d.h. bis zur Bestimmung des 100 %-Energieumsatzwertes, kann der Kurbelwellenwinkel  $\alpha_{E50 \%}$   
25 ermittelt werden, der dem 50 %-Energieumsatz entspricht. Ähnlich ist es auch denkbar, einen Kurbelwellenwinkel  $\alpha_{Ek \%}$  zu ermitteln, der einem  $k$  %-Energieumsatz entspricht.

Für die beschriebene Bestimmung der thermodynamischen Kenngröße reicht es, den Druckverlauf an nur einem Zylinder zu erfassen, es können aber auch die Druckverläufe  
30 an mehreren, insbesondere allen Zylindern ZYL1 ... ZYL $n$  für die Berechnung der thermodynamischen Kenngröße erfasst werden.

5

10

**Ansprüche**

15

20

25

30

1. Verfahren zum Überwachen der Abgasrückführung (AR) einer Brennkraftmaschine mittels Druckerfassung, bei dem Abgas von einer Auslassseite einer Brennraumanordnung über einen Abgasrückführungs kanal (ARK) zu einer Einlassseite der Brennraumanordnung zurückgeführt wird,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass in mindestens einem Brennraum (ZYL1 ... ZYL<sub>n</sub>) ein Druckverlauf erfasst wird und daraus eine thermodynamische Kenngröße als Ist-Wert ermittelt wird,  
dass ein den aktuellen Betriebspunkt der Brennkraftmaschine berücksichtigender Soll-Wert der Kenngröße bereitgestellt und eine Abweichung zwischen Soll-Wert und Ist-Wert bestimmt wird und  
dass aus der Abweichung eine Information über den aktuellen Zustand der Abgasrückführung im Vergleich zu deren Normalzustand gewonnen wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass als thermodynamische Kenngröße eine Zeitdifferenz oder eine Kurbelwellen-Winkeldifferenz ( $\Delta\alpha$ ) zwischen einem prozentualen Energieumsatzpunkt ( $\alpha_{EK} \%$ ) und einem in der Steuereinrichtung (ST) bekannten Bezugszeitpunkt oder Bezugswinkel ( $\alpha_z$ ) zugrunde gelegt wird.
3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2,  
dadurch gekennzeichnet,

5 dass der Druckverlauf durch Abtasten zu festen Kurbelwellen-Winkeln oder Zeitabständen erfasst wird und die abgetasteten Druckwerte als Datenfolge während zumindest eines Teils eines Verbrennungszyklus abgespeichert werden.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
10 dadurch gekennzeichnet,  
dass die thermodynamische Kenngröße auf der Grundlage des Druckverlaufs aus einem Brennverlauf, bei dem die insgesamt freigewordene Wärmemenge berechnet wird, oder aus einem Heizverlauf, bei dem die dem Brenngas zugeführte Wärmemenge berechnet wird, während zumindest eines Teils eines Verbrennungszyklus ermittelt wird.

5. Verfahren nach Anspruch 4,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass der Heizverlauf nach dem Zusammenhang  
20 
$$dQ_h = dU + p \cdot dV$$
berechnet wird, wobei  $dQ_h$  die zugeführte Wärmemenge,  $dU$  die Erhöhung der inneren Energie des Brenngases und  $p \cdot dV$  die abgegebene mechanische Arbeit bedeuten, und  
dass aus der zugeführten Wärmemenge  $dQ_h$  durch Integration über den Kurbelwellen-Winkel ein prozentualer Anteil des Energieumsatzes ermittelt wird.

6. Verfahren nach Anspruch 4 oder 5,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass der prozentuale Energieumsatzpunkt nach der Formel  
30 
$$Q_i = [n/(n-1)] \cdot p_i \cdot (V_{i+1} - V_{i-1}) \cdot [1/(n-1)] + V_i \cdot (p_{i+1} - p_{i-1})$$
berechnet wird, wobei  $n$  den Polytropenexponenten,  $p$  den Druck im Brennraum,  $V$  das Zylindervolumen und  $i$  einen laufenden Index des abgetasteten und gespeicherten Zylinderdrucks von Beginn, bis zum Ende eines Berechnungs-

intervalls bedeuten, oder aus einer aus dieser Formel abgeleiteten Formel berechnet wird, und

dass der prozentuale Energieumsatz durch Integration der Wärmemengen  $Q_i$  über einen vollständigen Arbeitszyklus nach Bestimmen des 100 %-Energieumsatzes ermittelt und daraus der dem prozentualen Energieumsatz entsprechende Kurbelwellen-Winkel ( $\alpha_{E50 \%}$ ) bestimmt wird.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass als prozentualer Energieumsatzpunkt der 50 %-Energieumsatzpunkt zugrunde gelegt wird.
8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Abweichung zwischen Soll-Wert und Ist-Wert mit einem positiven und negativen Grenzwert verglichen wird, die die Toleranzen der Kenngrößenberechnung und des Sollwertes berücksichtigen.
9. Verfahren nach einem der vorhandenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Druckverlauf direkt mittels eines in mindestens einem Brennraum (ZYL1 ... ZYLn) angeordneten Sensors oder indirekt bestimmt wird.
10. Verfahren nach einem der vorhandenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die ermittelten Abgasrückführungsdaten in der Steuereinrichtung für eine Fehlerdiagnose mit Fehlerabspeicherung und/oder Fehleranzeige und/oder für Steuerungszwecke, insbesondere Nachregulierung eines Abgasrückführventils (ARV) ausgewertet werden.



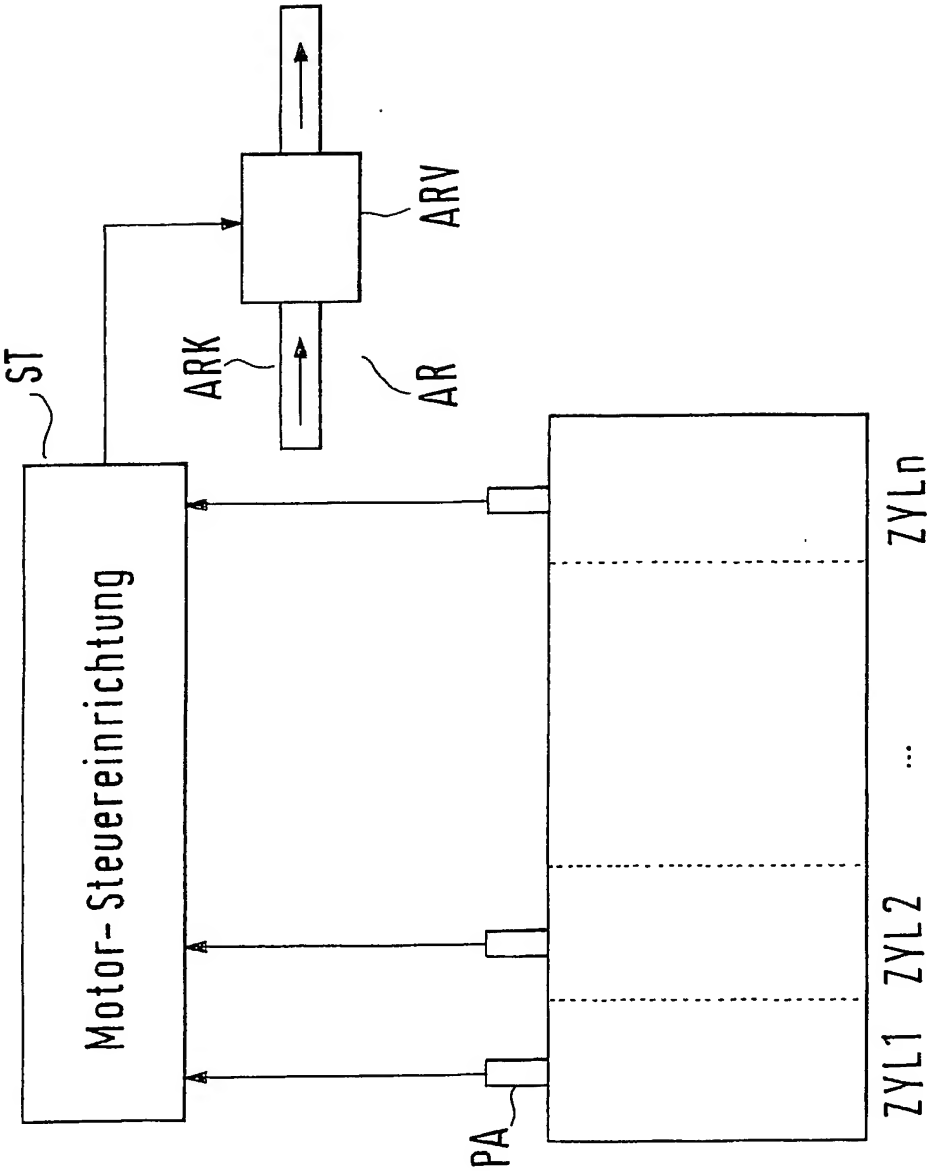


Fig.1

2/2

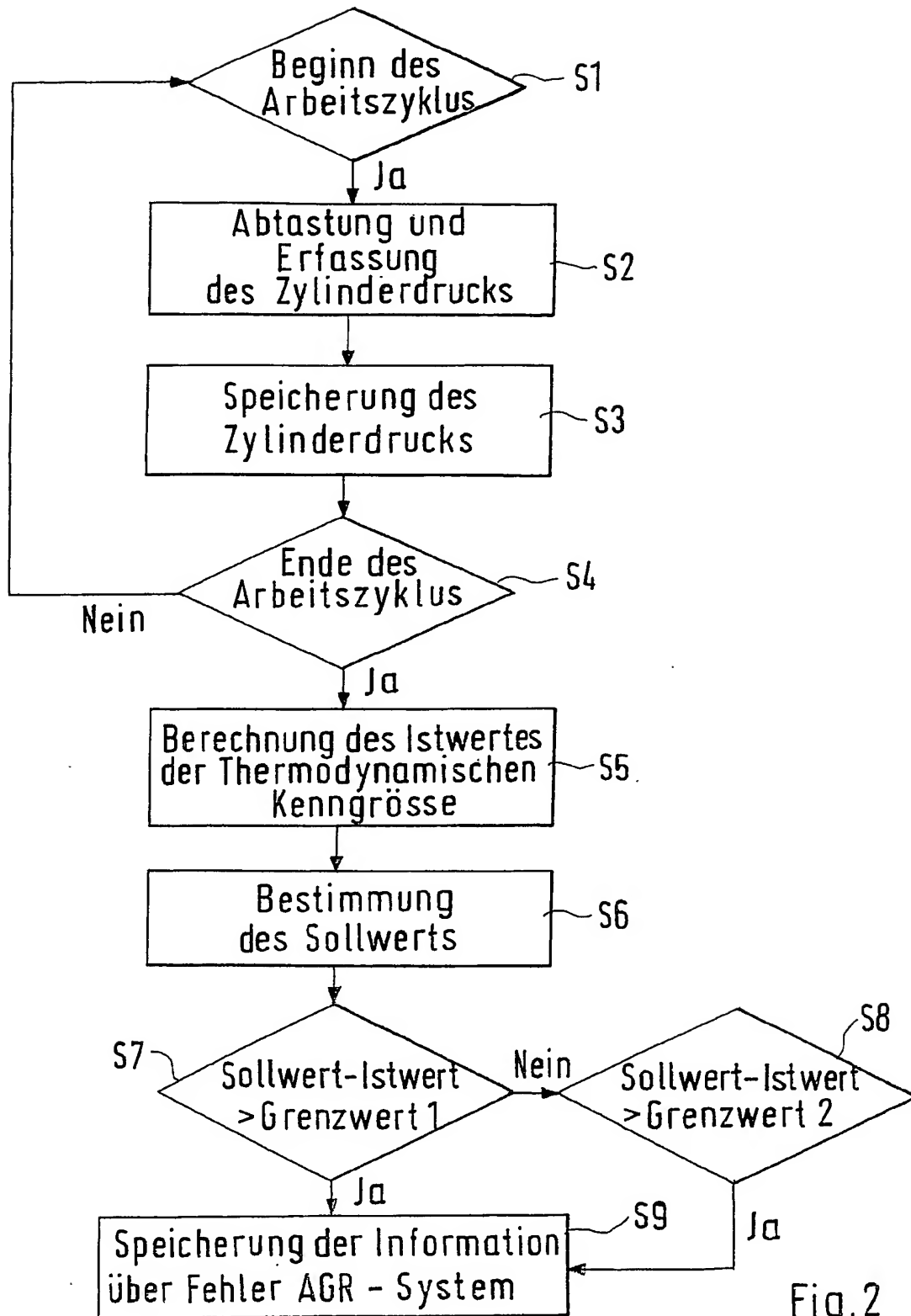


Fig. 2

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/DE2004/001267

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 F02M25/07 F02D35/00 F02D41/22 F02D21/08

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 F02M F02D

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, PAJ, WPI Data

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 5 617 833 A (TOMISAWA NAOKI ET AL) 8 April 1997 (1997-04-08) abstract claims 1-4	1-4, 7-10
X	----- PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 1998, no. 04, 31 March 1998 (1998-03-31) & JP 9 317568 A (NISSAN MOTOR CO LTD), 9 December 1997 (1997-12-09) abstract & JP 09 317568 A (NISSAN MOTOR CO LTD) 9 December 1997 (1997-12-09) abstract ----- -/--	1-3, 8-10



Further documents are listed in the continuation of box C.



Patent family members are listed in annex.

### \* Special categories of cited documents:

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the international filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

\*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

\*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

\*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

\* & \* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

12 October 2004

Date of mailing of the international search report

20/10/2004

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Trotureau, D

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/DE2004/001267

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 5 703 285 A (MACHIDA KENICHI ET AL) 30 December 1997 (1997-12-30) abstract column 1, line 39 - column 2, line 24 -----	
A	EP 1 106 805 A (HITACHI LTD) 13 June 2001 (2001-06-13) abstract paragraphs '0033!, '0034! figure 6 -----	
A	US 6 257 214 B1 (BIDNER DAVID KARL ET AL) 10 July 2001 (2001-07-10) abstract figure 5 claim 1 -----	

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/DE2004/001267

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 5617833	A	08-04-1997	JP 2964447 B2 JP 8177644 A	18-10-1999 12-07-1996
JP 9317568	A	09-12-1997	NONE	
US 5703285	A	30-12-1997	JP 3323700 B2 JP 9025851 A DE 19627644 A1	09-09-2002 28-01-1997 16-01-1997
EP 1106805	A	13-06-2001	JP 2000054889 A EP 1106805 A1 US 6502549 B1 WO 0009876 A1	22-02-2000 13-06-2001 07-01-2003 24-02-2000
US 6257214	B1	10-07-2001	NONE	

## INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE2004/001267

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES  
 IPK 7 F02M25/07 F02D35/00 F02D41/22 F02D21/08

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

## B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)  
 IPK 7 F02M F02D

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, PAJ, WPI Data

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 5 617 833 A (TOMISAWA NAOKI ET AL) 8. April 1997 (1997-04-08) Zusammenfassung Ansprüche 1-4	1-4, 7-10
X	----- PATENT ABSTRACTS OF JAPAN Bd. 1998, Nr. 04, 31. März 1998 (1998-03-31) & JP 9 317568 A (NISSAN MOTOR CO LTD), 9. Dezember 1997 (1997-12-09) Zusammenfassung & JP 09 317568 A (NISSAN MOTOR CO LTD) 9. Dezember 1997 (1997-12-09) Zusammenfassung ----- -/--	1-3, 8-10



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

\*A\* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

\*E\* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

\*L\* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

\*O\* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

\*P\* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

\*T\* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

\*X\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

\*Y\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

\*g\* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

12. Oktober 2004

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

20/10/2004

Name und Postanschrift der internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
 NL - 2280 HV Rijswijk  
 Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
 Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Trotureau, D

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	US 5 703 285 A (MACHIDA KENICHI ET AL) 30. Dezember 1997 (1997-12-30) Zusammenfassung Spalte 1, Zeile 39 - Spalte 2, Zeile 24 -----	
A	EP 1 106 805 A (HITACHI LTD) 13. Juni 2001 (2001-06-13) Zusammenfassung Absätze '0033!, '0034! Abbildung 6 -----	
A	US 6 257 214 B1 (BIDNER DAVID KARL ET AL) 10. Juli 2001 (2001-07-10) Zusammenfassung Abbildung 5 Anspruch 1 -----	

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

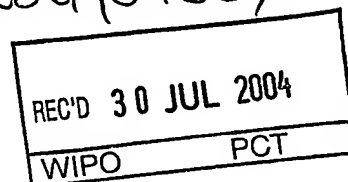
PCT/DE2004/001267

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 5617833	A	08-04-1997	JP 2964447 B2 JP 8177644 A	18-10-1999 12-07-1996
JP 9317568	A	09-12-1997	KEINE	
US 5703285	A	30-12-1997	JP 3323700 B2 JP 9025851 A DE 19627644 A1	09-09-2002 28-01-1997 16-01-1997
EP 1106805	A	13-06-2001	JP 2000054889 A EP 1106805 A1 US 6502549 B1 WO 0009876 A1	22-02-2000 13-06-2001 07-01-2003 24-02-2000
US 6257214	B1	10-07-2001	KEINE	





D 004 / 01267



**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung  
einer Patentanmeldung**

**Aktenzeichen:** 103 27 691.2

**Anmeldetag:** 20. Juni 2003

**Anmelder/Inhaber:** ROBERT BOSCH GMBH, 70469 Stuttgart/DE

**Bezeichnung:** Verfahren zur Überwachung der Abgasrückführung  
einer Brennkraftmaschine

**IPC:** F 02 D 21/08

**PRIORITY  
DOCUMENT**  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ur-  
sprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**

München, den 15. Juli 2004  
**Deutsches Patent- und Markenamt**  
**Der Präsident**  
Im Auftrag

**Kahle**

22. Mai 2003 - fle/poe

Robert Bosch GmbH, 70442 Stuttgart

**Verfahren zur Überwachung der Abgasrückführung einer Brennkraftmaschine**

5

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zum Überwachen der Abgasrückführung einer Brennkraftmaschine mittels Druckerfassung, bei dem Abgas von einer Auslassseite einer Brennraumanordnung über einen Abgasrückführungs-

10

Stand der Technik

15

Ein derartiges Verfahren ist in der DE 42 03 235 A1 angegeben. Bei diesem bekannten Verfahren werden mittels einer Ausfalldiagnosevorrichtung einer Abgas-Rückführungs-Steuereinrichtung in einer Ansaugleitung aufeinander folgend Druckwerte erfasst und die aufeinander folgenden Druckwertdifferenzen

akkumuliert. Aus dem akkumulierten Wert wird durch Vergleich mit einem vorgegebenen Wert eine Ausfalldiagnose der Abgasrückführ-Steuereinrichtung durchgeführt. Bei einem derartigen indirekten Verfahren müssen für jeden Betriebspunkt der Brennkraftmaschine sorgfältige Anpassungen vorgenommen werden, um Fehldiagnosen zu vermeiden. Der erforderliche Aufwand ergibt zusätzlich höhere Kosten.

Bei einem in der US 5,664,548 vorgeschlagenen weiteren Verfahren dieser Art werden auf der Auslassseite der Brennkraftmaschine Pulsamplituden der Abgasströmung erfasst, um den Zustand der Abgasrückführung zu ermitteln. Auch diese indirekte Vorgehensweise ist relativ aufwendig. Dabei sind weitere Sensoren nachteilig und insbesondere Sensoren, die dem Abgasstrom ausgesetzt sind, sind starken Temperaturbelastungen und Störungen durch Partikelablagerungen unterworfen.

Unter Abgasrückführung (AGR) ist vorliegend die dosierte Einleitung von Abgas von der Ausgangsseite der Brennkraftmaschine in den Ansaugbereich zu verstehen. Dazu wird üblicherweise durch die vorhandene Steuereinrichtung der Brennkraftmaschine ein Abgasrückführventil in Abhängigkeit von verschiedenen Betriebsparametern der Brennkraftmaschine gesteuert. Wenn aber das Ventil nicht den erwarteten Abgasmassenstrom dosiert (z.B. wegen unvollständiger Öffnung des Ventils durch Verschmutzung und Ablagerungen oder Querschnittsverringeringen im Wege des Abgases von der Abgasseite der Brennkraftmaschine zur Luftansaugseite), werden zulässige Grenzwerte für die Abgasemissionen über-

5 schritten und nicht optimale Steuersignale (z.B. Zündzeitpunkt) durch die Steuervorrichtung ermittelt.

10 Neben den vorstehend genannten Verfahren zur Überwachung der Abgasrückführung sind noch verschiedene andere Grundprinzipien bekannt. Hierzu gehören eine Messung und Überwachung der durch die aktive Abgasrückführung hervorgerufenen Temperaturänderungen, wobei sich ein Temperatursensor zwischen dem Abgasrückführventil und dem Ansaugbereich befindet, wie z.B. in der US 6,085,732 angegeben. Auch eine Messung und Überwachung des durch die aktive Abgasrückführung hervorgerufenen Gasmassenstroms ist vorgeschlagen  
15 worden. In der DE 42 24 219 A1 ist eine Überwachung des Stickoxyds im Abgas mit einem NOx-Sensor und Rückschluss auf die Rate der Abgasrückführung vorgeschlagen, während die DE 42 16 044 A1 eine Beobachtung des Anstiegs der Verbrennungsaussetzer-Rate mit zunehmender Öffnung des Abgasrückführventils offenbart.

20 Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren der eingangs genannten Art bereit zu stellen, mit dem bei möglichst geringem Aufwand eine möglichst zuverlässige Überwachung der Abgasrückführung erreicht wird.

#### 25 Vorteile der Erfindung

Diese Aufgabe wird mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Dabei ist vorgesehen, dass in mindestens einem Brennraum ein Druckverlauf erfasst wird  
30 und daraus eine thermodynamische Kenngröße als Ist-Wert ermittelt wird, dass

5 ein den aktuellen Betriebspunkt der Brennkraftmaschine berücksichtigender Soll-Wert der Kenngröße bereitgestellt und eine Abweichung zwischen Soll-Wert und Ist-Wert bestimmt wird und dass aus der Abweichung eine Information über den aktuellen Zustand der Abgasrückführung im Vergleich zu deren Normalzustand gewonnen wird.

10 Mit diesen Maßnahmen wird ein direktes Verfahren erhalten, wobei das System zur Überwachung der Abgasrückführung keine zusätzliche Sensoren benötigt und der Verbrennungsablauf direkt analysiert wird. Das Verfahren macht sich die vorhandene Steuereinrichtung der Brennkraftmaschine zunutze, die mit Aufnehmern für den Brennraum- bzw. Zylinderdruck für zumindest einen, beispielsweise  
15 jeden zu überwachenden Zylinder der Brennkraftmaschine verbunden ist. Die Steuereinrichtung wirkt in üblicher Weise auch auf das Abgasrückführventil, um den für den optimalen Betrieb der Brennkraftmaschine erforderlichen Abgas-Massenstrom einzustellen. Der Verlauf des Zylinderdrucks und gegebenenfalls davon abgeleitete Größen werden als Eingangssignal für verschiedene Steuerungsfunktionen in der Steuereinrichtung verwendet. Ausgangssignale der  
20 Steuerung sind z.B. Steuersignale für die Kraftstoffzumessung und die Steuerung der Zündung des Brennstoff-Luft-Gemisches.

25 Das Verfahren beruht auf der bekannten Abhängigkeit des Verbrennungsablaufs von dem relativen Anteil des zurückgeführten Abgases an der Gesamtfüllung jedes Zylinders mit Luft und Kraftstoff. Je größer dieser relative Anteil an Abgas ist, desto länger dauert die Umsetzung des Kraftstoffes während der Verbrennung. Dies ist durch den Charakter des Abgases als Inert-Gas zu erklären, das  
30 keinen Beitrag zur chemischen Reaktion von Kraftstoff und Luft-Sauerstoff lie-

5 fert. Die Bestimmung der Umsetzung des Kraftstoffes erfolgt durch die Anwendung thermodynamischer Berechnungen. Wesentliche Eingangsgröße der thermodynamischen Berechnung ist der gemessene Zylinderdruck. Das Resultat dieser Berechnung für einen in der Regel vollständigen Verbrennungszyklus wird dann in der Steuereinrichtung mit einem Soll-Wert verglichen. Der Soll-Wert wird  
10 vorzugsweise während der Ermittlung der Steuerparameter für die Brennkraftmaschine für verschiedene relative Anteile der Abgasrückführung an den für die Überwachung zu erwartenden Betriebspunkten der Brennkraftmaschine (z.B. Drehzahl und Luftfüllung sowie Betrag der Ansteuerung des Abgasrückführventils) in der Regel im Prüfstand einmalig ermittelt.

15 Eine vorteilhafte Ausgestaltung des Verfahrens für eine zuverlässige Überwachung der Abgasrückführung besteht darin, dass als thermodynamische Kenngröße eine Zeitdifferenz oder eine Kurbelwellen-Winkeldifferenz zwischen einem prozentualen Energieumsatzpunkt und einem in der Steuereinrichtung bekannten Bezugszeitpunkt oder Bezugswinkel zugrunde gelegt wird.  
20

25 Eine einfache Vorgehensweise mit zuverlässiger Messung wird dadurch begünstigt, dass der Druckverlauf durch Abtasten zu festen Kurbelwellen-Winkeln oder Zeitabständen erfasst wird und die abgetasteten Druckwerte als Datenfolge während zumindest eines Teils eines Verbrennungszyklus abgespeichert werden.

30 Eine für die Auswertung vorteilhafte Vorgehensweise wird auch dadurch erreicht, dass die thermodynamische Kenngröße auf der Grundlage des Druckverlaufs aus einem Brennverlauf, bei dem die insgesamt freigewordene Wärmemenge berechnet wird, oder aus einem Heizverlauf, bei dem die dem Brenngas

zugeführte Wärmemenge berechnet wird, während zumindest eines Teils eines Verbrennungszyklus ermittelt wird.

Zum Ermitteln der thermodynamischen Kenngröße ist vorteilhaft vorgesehen, dass der Heizverlauf nach dem Zusammenhang  $dQ_h = dU + p \cdot dV$  berechnet wird, wobei  $dQ_h$  die zugeführte Wärmemenge,  $dU$  die Erhöhung der inneren Energie des Brenngases und  $p \cdot dV$  die abgegebene mechanische Arbeit bedeuten, und dass aus der zugeführten Wärmemenge  $dQ_h$  durch Integration über den Kurbelwellen-Winkel ein prozentualer Anteil des Energieumsatzes ermittelt wird.

Im Einzelnen ergibt sich ein günstiger Verfahrensablauf dadurch, dass der prozentuale Energieumsatzpunkt nach der Formel

$$Q_i = [n/(n-1)] \cdot p_i \cdot (V_{i+1} - V_{i-1}) \cdot [1/(n-1)] + V_i \cdot (p_{i+1} - p_{i-1})$$

berechnet wird, wobei  $n$  den Polytropenexponenten,  $p$  den Druck im Brennraum,  $V$  das Zylindervolumen und  $i$  einen laufenden Index des abgetasteten und gespeicherten Zylinderdrucks von Beginn bis zum Ende eines Berechnungsintervalls bedeuten, oder aus einer aus dieser Formel abgeleiteten Formel berechnet wird, und dass der prozentuale Energieumsatz durch Integration der Wärmemengen  $Q_i$  über einen vollständigen Arbeitszyklus nach Bestimmen des 100 %-Energieumsatzes ermittelt und daraus der dem prozentualen Energieumsatz entsprechende Kurbelwellen-Winkel bestimmt wird.

Eine zuverlässige Überwachung der Abgasrückführung wird z.B. dadurch erzielt, dass als prozentualer Energieumsatzpunkt der 50 % Energieumsatzpunkt zugrunde gelegt wird.

Weiterhin sind für die Überwachung der Abgasrückführung die Maßnahmen vorteilhaft, dass die Abweichung zwischen Soll-Wert und Ist-Wert mit einem positiven und nega-

5 tiven Grenzwert verglichen wird, die die Toleranzen der Kenngrößenberechnung und des Soll-Wertes berücksichtigen.

Verschiedene Möglichkeiten zum Erfassen des Druckverlaufs bestehen darin, dass der Druckverlauf direkt mittels eines in mindestens einem Brennraum angeordneten Sensors  
10 oder indirekt bestimmt wird.

Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen des Verfahrens ergeben sich dadurch, dass die ermittelten Abgasrückführungsdaten in der Steuereinrichtung für eine Fehlerdiagnose mit Fehlerabspeicherung und/oder Fehleranzeige und/oder für Steuerungszwecke, insbesondere Nachregulierung eines Abgasrückführventils, ausgewertet  
15 werden.

Zeichnung

20 Die Erfindung wird nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 eine schematische Darstellung vorliegend wesentlicher Teile einer Brennkraftmaschine und  
25

Fig. 2 ein Ablaufdiagramm der Überwachung einer Abgasrückführung.

30 Ausführungsbeispiele

Fig. 1 zeigt in schematischer Darstellung eine Zylinderanordnung einer Brennkraftmaschine mit Zylindern ZYL1, ZYL2 ... ZYL<sub>n</sub>, die zwischen ihrer (nicht



5 dargestellten) Ausgangsseite zu ihrer (ebenfalls nicht dargestellten) Eingangsseite beziehungsweise ihrem Ansaugbereich über einen Abgasrückführkanal ARK mit darin angeordnetem Abgasrückführventil ARV für die Abgasrückführung AR verbunden ist. Üblicherweise ist dabei für alle Zylinder ZYL1 ... ZYL<sub>n</sub> gemeinsam eine derartige Abgasrückführung AR vorgesehen, jedoch auch eine individuelle Abgasrückführung AR über jeweilige Abgasrückführkanäle ARK ist denkbar. Die Zylinder ZYL1 ... ZYL<sub>n</sub> sind mit jeweiligen Druckaufnehmern PA für den Brennraum- bzw. Zylinderdruck versehen, deren Signale einer Steuereinrichtung ST zur Verarbeitung, Auswertung und gegebenenfalls Ansteuerung des Abgasrückführventils ARV zugeführt werden. Bei der Steuereinrichtung ST handelt es sich um eine übliche Motor-Steuereinrichtung, die eine 10 Vielzahl von Überwachungs- und Steuerungsfunktionen der Brennkraftmaschine erfüllt und unter anderem mit geeigneten Speichereinrichtungen versehen ist, um z.B. vorgegebene Werte und ermittelte Werte abzuspeichern und etwa eine Fehlerdiagnose durchzuführen.

20 Fig. 2 zeigt einen Verfahrensablauf bei der Überwachung der Abgasrückführung AR. Nach einem Beginn eines Arbeitszyklus in einem Schritt S1 (z.B. Einspritzzeitpunkt oder Zündzeitpunkt) wird in einem Schritt S2 der Zylinderdruck bei vorzugsweise einem festen Kurbelwellenwinkel abgetastet und erfasst und in einem Schritt S3 gespeichert. Anschließend wird in einem Schritt S4 festgestellt, ob der Arbeitszyklus (z.B. bei einem bestimmten abgefallenen Zylinderdruck oder Kurbelwellenwinkel) beendet ist. Falls der 25 Arbeitszyklus nicht beendet ist, werden die vorangegangenen Schritte wiederholt, bis das Ende des Arbeitszyklus festgestellt wird. Danach wird der Ist-Wert einer für die Abgasrückführung charakteristischen thermodynamischen Kenngröße in einem Schritt S5 ermittelt und aus einer Speichertabelle oder einem zuvor gespeicherten Kurvenverlauf in der Steuereinrichtung der den aktuellen Betriebsparametern der Brennkraftmaschine entsprechende Soll-Wert in einem Schritt S6 bereit gestellt. Bei einem anschließenden Soll-Wert/Ist-Wert-Vergleich in einem Schritt S7 wird festgestellt, ob die 30 Abweichung größer als ein vorgegebener Grenzwert ist. Falls dies nicht der Fall ist, wird

5 in einem Schritt S8 festgestellt, ob die Abweichung zwischen Soll-Wert und Ist-Wert einen weiteren vorgegebenen Grenzwert unterschreitet. Falls in dem Schritt S7 oder dem Schritt S8 festgestellt wird, dass der Grenzwert überschritten beziehungsweise unterschritten ist, wird in einem Schritt S9 eine Information über einen Fehler bei der Abgasrückführung beziehungsweise des Abgasrückführsystems gespeichert. Mit dieser  
10 Information kann dann mittels der Steuereinrichtung eine Diagnoseanzeige gesteuert oder es können weitere oder andere Steuerungsfunktionen, beispielsweise eine Nachregulierung des Abgasrückführventils ARV zur Anpassung an einen versotteten Abgasrückführkanal ARK, ausgelöst werden.

15 Der Soll-Wert, der als Parameter in der Steuereinrichtung abgelegt ist, berücksichtigt den aktuellen Betriebspunkt der Brennkraftmaschine z.B. entsprechend der Drehzahl, der Luftfüllung oder einer eingestellten Abgasrückführrate. Die beiden vorgegebenen Grenzwerte berücksichtigen die Toleranzen bei der Kenngrößenberechnung und des Soll-Wertes.

20 Für die Anzeige der abnormalen Abgasrückführung AR oder für die Durchführung anderer Steuerungsfunktionen wird üblicherweise eine bestimmte Anzahl von Überschreitungen abgewartet, um die Zuverlässigkeit der Auswertung zu erhöhen.

25 In einer Erweiterung der Steuer- bzw. Diagnosefunktion kann die Ansteuerung des Abgasrückführventils ARV durch die Steuereinrichtung so beeinflusst werden, dass die Abweichung zwischen Soll- und Ist-Wert ausgeregelt wird. Damit können z.B. zunehmende Verschmutzungen des Abgasrückführventils ARV oder des Abgasrückführkanals ARK bzw. der Verbindungsleitungen kompensiert werden.

30 Die genannte thermodynamische Kenngröße wird so gewählt, dass sie den zeitlichen Ablauf der Verbrennung beschreibt. An sich bekannte Größen hierfür sind der sogenannte Brennverlauf, der die insgesamt freigewordene Wärmemenge berechnet und

der sogenannte Heizverlauf, der die dem Gas zugeführte Wärmemenge berechnet. Der Heizverlauf ist einfacher zu berechnen, da z.B. die Wandwärmeverluste nicht berücksichtigt werden, und wird durch den Zusammenhang

$$dQ_h = dU + p \cdot dV$$

bestimmt, wobei  $dQ_h$  die zugeführte Wärmemenge,  $dU$  die Erhöhung der inneren Energie des Gases und  $p \cdot dV$  die abgegebene mechanische Arbeit bedeuten. Aus der Größe  $dQ_h$  wird durch Integration über den Kurbelwellenwinkel  $\alpha$  der prozentuale Anteil des Energieumsatzes über dem Kurbelwellenwinkel ermittelt. Aus verschiedenen Untersuchungen ist bekannt, dass z.B. der Kurbelwellenwinkel  $\alpha_{E50 \%}$ , bei dem 50% des Energieumsatzes erfolgt sind, eine Korrelation mit dem relativen Anteil der Abgasrückführung an der Zylinderfüllung (Abgasrückführrate) aufweist. Dabei ist der 50 %-Energieumsatz allerdings noch nicht eindeutig der Abgasrückführrate zuordenbar.

Um eine eindeutige Zuordnung zu erhalten, wird vorliegend die thermodynamische Kenngröße als Differenz aus dem 50 %-Energieumsatzpunkt und dem aktuell ermittelten Zündwinkel  $\alpha_z$  über den Zusammenhang

$$\Delta\alpha = \alpha_{E50 \%} - \alpha_z$$

bestimmt. Mit dieser Größe kann die relative Abgasrückführrate ermittelt werden. In der Steuereinrichtung der Brennkraftmaschine ist der Zusammenhang zwischen der Abgasrückführrate und der Kurbelwinkeldifferenz  $\Delta\alpha$  in Form von Daten, z.B. als Kennfeld oder Funktion  $\Delta\alpha_{\text{soll}} = f(\text{AGR-Rate})$  gespeichert. Diese Funktion ist gegebenenfalls um weitere Betriebsparameter zu erweitern.

Für die von der Steuereinrichtung ST eingestellte Ansteuerung des Abgasrückführventils ARV wird die zugehörige Kenngröße  $\Delta\alpha_{\text{soll}}$  als Sollwert aus den gespeicherten Daten für den betreffenden Verbrennungszyklus ermittelt. Zudem berechnet die Steuereinrichtung ST aus dem Zylinderdrucksignal beziehungsweise der Datenfolge des abgetasteten

Druckverlaufs den dem 50 %-Energieumsatzpunkt entsprechenden 50 %-Zündwinkel  $\alpha_{E50 \%}$ , der nach Subtraktion des aktuellen Zündwinkels  $\alpha_z$  die Ist-Größe  $\Delta\alpha_{ist}$  ergibt.

Bei Brennkraftmaschinen ohne Fremdzündung kann die thermodynamische Kenngröße  $\Delta\alpha$  auch zum Beispiel durch Ersetzen des Zündwinkels  $\alpha_z$  erfolgen. Eine mögliche Realisierung einer solchen Ersatzgröße ist z.B. der Winkel des Spritzbeginns für den Kraftstoff.

Eine einfache Möglichkeit zur Berechnung des 50 %-Kurbelwellenwinkels (50 %-Energieumsatz-Winkel) in der Steuereinrichtung ergibt die Formel

$$Q_i = [n/(n-1)] * p_i * (V_{i+1} - V_{i-1}) + [1/(n-1)] * V_i * (p_{i+1} - p_{i-1})$$

wobei  $Q_i$  die Wärmemenge,  $n$  den Polytropenexponenten,  $p$  den Zylinderdruck,  $V$  das jeweilige Zylindervolumen und  $i$  den laufenden Index des abgetasteten und gespeicherten Zylinderdrucks von Beginn bis Ende des Berechnungsintervalles darstellen, das nicht notwendig den gesamten Verbrennungszyklus umfassen muss. Es kann eine Einschränkung auf einen relevanten Teil des Verbrennungszyklus im Bereich der Energiefreisetzung aus dem Kraftstoff erfolgen.

Nach Integration der Wärmemengen  $Q_i$  über den vollständigen Arbeitszyklus, d.h. bis zur Bestimmung des 100 %-Energieumsatzwertes, kann der Kurbelwellenwinkel  $\alpha_{E50 \%}$  ermittelt werden, der dem 50 %-Energieumsatz entspricht. Ähnlich ist es auch denkbar, einen Kurbelwellenwinkel  $\alpha_{Ek \%}$  zu ermitteln, der einem  $k$  %-Energieumsatz entspricht.

Für die beschriebene Bestimmung der thermodynamischen Kenngröße reicht es, den Druckverlauf an nur einem Zylinder zu erfassen, es können aber auch die Druckverläufe an mehreren, insbesondere allen Zylindern ZYL1 ... ZYL $n$  für die Berechnung der thermodynamischen Kenngröße erfasst werden.

5

Robert Bosch GmbH, 70442 Stuttgart

10

Ansprüche

15

20

25

30

1. Verfahren zum Überwachen der Abgasrückführung (AR) einer Brennkraftmaschine mittels Druckerfassung, bei dem Abgas von einer Auslassseite einer Brennraumanordnung über einen Abgasrückführungs kanal (ARK) zu einer Einlassseite der Brennraumanordnung zurückgeführt wird, dadurch gekennzeichnet, dass in mindestens einem Brennraum (ZYL1 ... ZYL<sub>n</sub>) ein Druckverlauf erfasst wird und daraus eine thermodynamische Kenngröße als Ist-Wert ermittelt wird, dass ein den aktuellen Betriebspunkt der Brennkraftmaschine berücksichtigender Soll-Wert der Kenngröße bereitgestellt und eine Abweichung zwischen Soll-Wert und Ist-Wert bestimmt wird und dass aus der Abweichung eine Information über den aktuellen Zustand der Abgasrückführung im Vergleich zu deren Normalzustand gewonnen wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass als thermodynamische Kenngröße eine Zeitdifferenz oder eine Kurbelwellen-Winkeldifferenz ( $\Delta\alpha$ ) zwischen einem prozentualen Energieumsatzpunkt ( $\alpha_{EK} \%$ ) und einem in der Steuereinrichtung (ST) bekannten Bezugszeitpunkt oder Bezugswinkel ( $\alpha_z$ ) zugrunde gelegt wird.
3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet,

dass der Druckverlauf durch Abtasten zu festen Kurbelwellen-Winkeln oder Zeitabständen erfasst wird und die abgetasteten Druckwerte als Datenfolge während zumindest eines Teils eines Verbrennungszyklus abgespeichert werden.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die thermodynamische Kenngröße auf der Grundlage des Druckverlaufs aus einem Brennverlauf, bei dem die insgesamt freigewordene Wärmemenge berechnet wird, oder aus einem Heizverlauf, bei dem die dem Brenngas zugeführte Wärmemenge berechnet wird, während zumindest eines Teils eines Verbrennungszyklus ermittelt wird.

5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass der Heizverlauf nach dem Zusammenhang

$$dQ_h = dU + p \cdot dV$$

berechnet wird, wobei  $dQ_h$  die zugeführte Wärmemenge,  $dU$  die Erhöhung der inneren Energie des Brenngases und  $p \cdot dV$  die abgegebene mechanische Arbeit bedeuten, und

dass aus der zugeführten Wärmemenge  $dQ_h$  durch Integration über den Kurbelwellen-Winkel ein prozentualer Anteil des Energieumsatzes ermittelt wird.

6. Verfahren nach Anspruch 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, dass der prozentuale Energieumsatzpunkt nach der Formel

$$Q_i = [n/(n-1)] \cdot p_i \cdot (V_{i+1} - V_{i-1}) \cdot [1/(n-1)] + V_i \cdot (p_{i+1} - p_{i-1})$$

berechnet wird, wobei  $n$  den Polytropenexponenten,  $p$  den Druck im Brennraum,  $V$  das Zylindervolumen und  $i$  einen laufenden Index des abgetasteten und gespeicherten Zylinderdrucks von Beginn, bis zum Ende eines Berechnungs-

intervalls bedeuten, oder aus einer aus dieser Formel abgeleiteten Formel berechnet wird, und

dass der prozentuale Energieumsatz durch Integration der Wärmemengen  $Q_i$  über einen vollständigen Arbeitszyklus nach Bestimmen des 100 %-Energieumsatzes ermittelt und daraus der dem prozentualen Energieumsatz entsprechende Kurbelwellen-Winkel ( $\alpha_{E50 \%}$ ) bestimmt wird.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass als prozentualer Energieumsatzpunkt der 50 %-Energieumsatzpunkt zugrunde gelegt wird.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Abweichung zwischen Soll-Wert und Ist-Wert mit einem positiven und negativen Grenzwert verglichen wird, die die Toleranzen der Kenngrößenberechnung und des Sollwertes berücksichtigen.

9. Verfahren nach einem der vorhandenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Druckverlauf direkt mittels eines in mindestens einem Brennraum (ZYL1 ... ZYL $n$ ) angeordneten Sensors oder indirekt bestimmt wird.

10. Verfahren nach einem der vorhandenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die ermittelten Abgasrückführungsdaten in der Steuereinrichtung für eine Fehlerdiagnose mit Fehlerabspeicherung und/oder Fehleranzeige und/oder für Steuerungszwecke, insbesondere Nachregulierung eines Abgasrückführventils (ARV) ausgewertet werden.

Robert Bosch GmbH, 70442 Stuttgart

5

10

### Zusammenfassung

15

20

25

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zum Überwachen der Abgasrückführung (AR) einer Brennkraftmaschine mittels Druckerfassung, bei dem Abgas von einer Auslassseite einer Brennraumanordnung über einen Abgasrückführungs kanal (ARK) zu einer Einlassseite der Brennraumanordnung zurückgeführt wird. Eine zuverlässige Überwachung der Abgasrückführung mit relativ geringem Aufwand wird dadurch erreicht, dass in mindestens einem Brennraum (ZYL1 ... ZYL<sub>n</sub>) ein Druckverlauf erfasst wird und daraus eine thermodynamische Kenngröße als Ist-Wert ermittelt wird, dass ein den aktuellen Betriebspunkt der Brennkraftmaschine berücksichtigender Soll-Wert der Kenngröße bereitgestellt und eine Abweichung zwischen Soll-Wert und Ist-Wert bestimmt wird und dass aus der Abweichung eine Information über den aktuellen Zustand der Abgasrückführung im Vergleich zu deren Normalzustand gewonnen wird (Fig. 1).



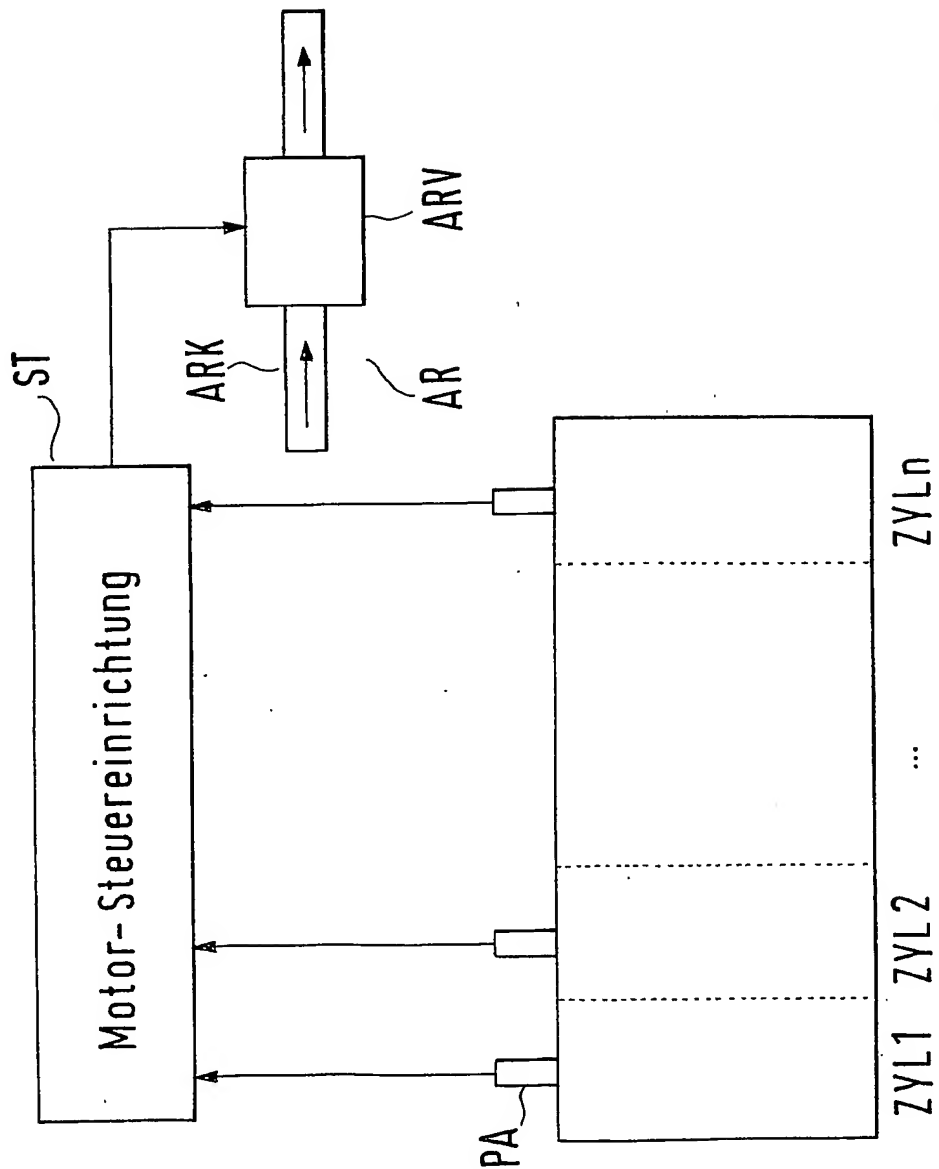


Fig.1

2/2

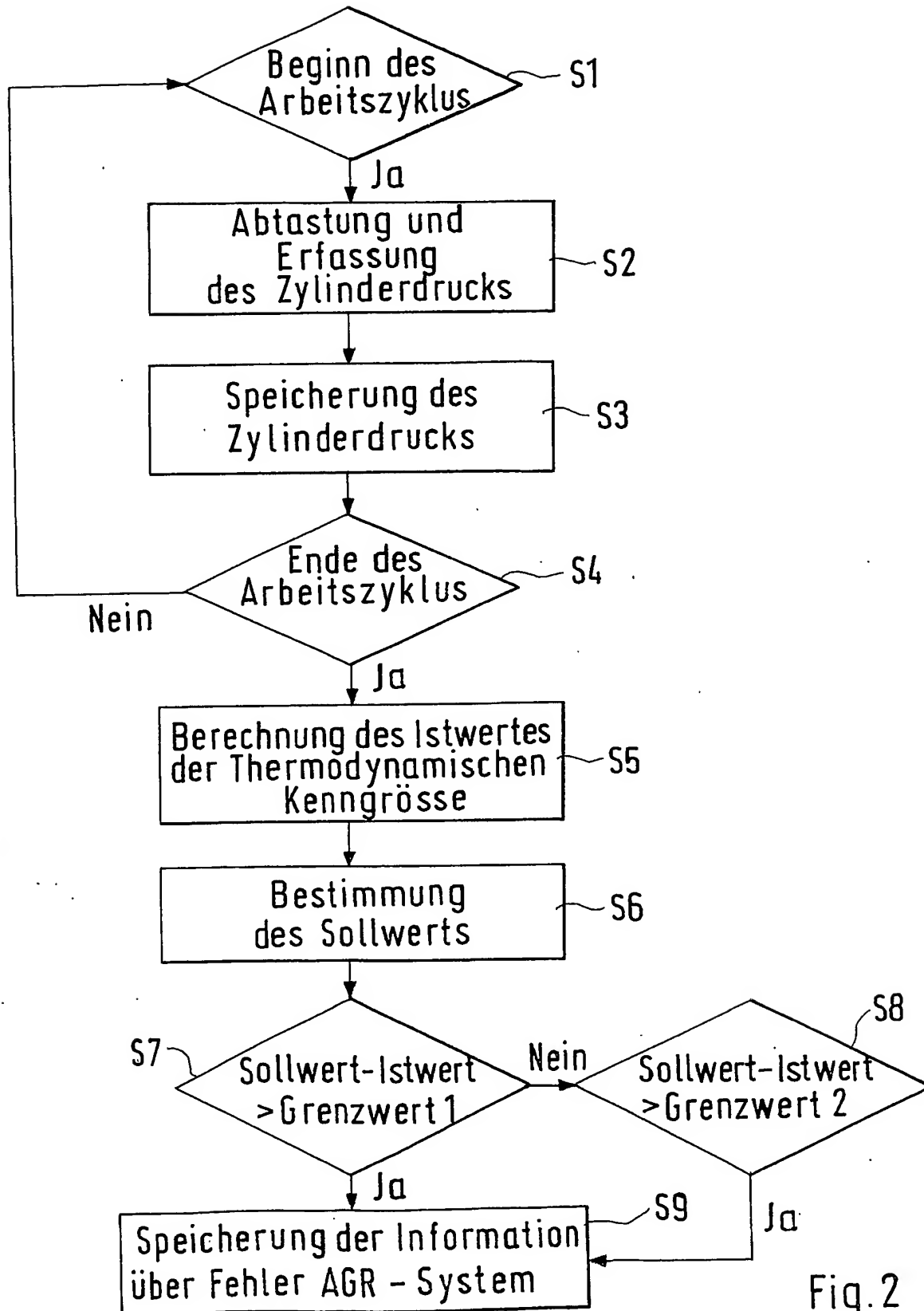


Fig. 2

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☒ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**